

Géopolitique de la recherche et de l'innovation : les méthodes alternatives de production agricole en grandes cultures

109

par Monsieur Michel Griffon
*Conseiller scientifique auprès du Directeur Général
Agence Nationale de la Recherche*

Proposer une réflexion de nature géopolitique sur l'évolution de la technologie agricole est un exercice difficile. Les choix technologiques d'un espace géopolitique donné dépendent de beaucoup de facteurs : la nature des ressources, les surfaces disponibles et le nombre de bouches à nourrir, les conditions économiques et, en particulier, le fonctionnement des marchés, la disponibilité en capacités techniques, les comportements des producteurs, ... Chaque situation est le résultat d'une histoire et le passé marque le futur. Et c'est essentiellement le futur technologique qui nous intéresse ici. À la complexité de cette réflexion s'ajoute le fait que cohabitent des agricultures ayant des niveaux de richesse différents et donc n'utilisant pas les mêmes technologies. Enfin, les analyses géopolitiques des choix technologiques restent rares, particulièrement en agriculture. Aussi convient-il, avant de se livrer à émettre telle ou telle conjecture, de baliser le terrain de la réflexion, continent par continent, au risque d'une certaine lourdeur... Mais à l'issue de cette brève « *revue continentale* », il sera possible de mieux identifier les enjeux à travers un rappel historique, puis d'esquisser une problématique prospective.

1. GÉOGRAPHIE DE L'ÉVOLUTION DES TECHNIQUES DURANT LES DERNIÈRES DÉCENNIES

1.1. L'Asie surpeuplée disant René Dumont...

L'histoire longue désigne l'Asie comme l'un des deux continents (avec l'Europe) ayant connu très tôt des niveaux de population élevés, donc de nombreuses bouches à nourrir. Mais l'Asie a cette particularité de n'avoir pas beaucoup de grandes plaines aux conditions climatiques très favorables à l'agriculture – exceptés celle du Gange, les plaines côtières et les deltas. En Inde, le grand plateau du Dekkan est très sec. Partout, le relief est en majorité collinaire et montagneux. En Chine comme en Inde et en Asie du Sud-Est, s'est donc d'abord développée une agriculture des vallées, puis, très tôt historiquement, une agriculture de terrasses. L'irrigation a été rapidement nécessaire pour accroître les rendements, aussi bien dans les plaines aménagées

avec des digues contrôlant les inondations que dans les montagnes grâce à d'ingénieux systèmes de distribution et de circulation gravitaire des eaux. Pression démographique élevée et territoire limité : c'est donc une dynamique malthusienne qui a été à l'œuvre. Davantage de population sur un espace limité a obligé, pour éviter les famines très nombreuses tout au long de l'histoire asiatique, à faire des aménagements pour irriguer, ainsi qu'à sélectionner des semences très productives. Pour affronter ces épreuves, les empires asiatiques et les administrations locales ont ainsi acquis depuis plus de deux mille ans une expérience organisatrice : certains experts parlent même d'*empires hydrauliques*.

Outre l'irrigation, d'autres techniques permettant des sauts productifs ont été identifiées dans l'histoire, notamment avec la mécanisation. Mais le grand accroissement de productivité par hectare s'est produit à partir de 1966 avec la *Révolution verte*, alors que la population asiatique connaissait un accroissement très rapide. Contemporaine de la PAC, la *Révolution verte* a constitué une traduction tropicale du « *paquet technologique* » reposant sur les semences sélectionnées, les engrais, puis les traitements phytosanitaires et du « *paquet politique* » très favorable aux producteurs (subventions, prix garantis). Elle a touché la plus grande partie des exploitations, celles-ci étant dans leur immense majorité, y compris encore aujourd'hui, de petite taille. De son côté, le Japon a connu la même évolution après la Seconde Guerre mondiale, avec une distribution des terres féodales aux familles paysannes. Dans un contexte d'agriculture manuelle et de traction bovine (de motoculture au Japon), les rendements asiatiques ont connu une progression très rapide, éliminant les risques de famine.

Cependant, au milieu des années quatre-vingt-dix, les rendements ont commencé à plafonner, principalement en raison des revers des politiques agricoles devenues moins favorables, en particulier avec la réduction des subventions. Parallèlement, les gouvernements ont pris conscience de plusieurs problèmes environnementaux graves : la surexploitation des nappes phréatiques, la salinisation des terres irriguées, les niveaux élevés de pollution aux engrais et pesticides, ... Ce plafonnement demeure inquiétant car la population asiatique n'a pas atteint son maximum de croissance. L'Inde qui, grâce à

la *Révolution verte*, avait un temps connu les surplus alimentaires et exporté des céréales, puis diversifié sa production vers les huiles alimentaires a dû renoncer à ces choix pour se consacrer prioritairement à l'objectif d'auto-suffisance en céréales. Elle importe donc massivement de l'huile de palme d'Asie du Sud-Est, région où existent encore des terres à conquérir : ce que de très grandes entreprises à capitaux asiatiques ont fait, en particulier en Indonésie. Quant à la Chine, elle a dû elle aussi accepter d'importer ce qui lui manquait, en particulier du soja pour l'alimentation de ses animaux, la consommation de viande s'envolant avec l'amélioration du pouvoir d'achat des classes moyennes. La course malthusienne n'est donc pas terminée. Plus l'Asie prospérera, plus les classes moyennes seront importantes, plus elle consommera de viande (elle a déjà triplé sa consommation par tête en vingt ans) et plus elle devra accroître à la fois les rendements et les importations, principalement d'oléo-protéagineux. Face à cette situation, certains pays d'Asie ont commencé à acheter des terres dans d'autres pays afin d'assurer un approvisionnement, solution inventée au Japon dans les années quatre-vingts par des coopératives agricoles. Mais cette solution reste difficile à mettre en œuvre. Pour l'Asie, la mise au point de techniques hautement productives est donc devenue un enjeu capital.

1.2. L'Afrique du Nord et le Moyen-Orient, autre grand importateur

La encore surgit la question malthusienne : une population qui augmente (malgré un fort ralentissement), des ressources en terres et en eau très limitées et un climat peu favorable aux hauts rendements. La région est depuis longtemps dépendante des importations. Elle le sera de plus en plus car elle a presque épuisé ses possibilités d'accroître ses surfaces irriguées. Ses surfaces céréalières sont relativement importantes, mais les rendements demeurent faibles et ils ont peu évolué dans les dernières décennies.

Dans cette région, les agricultures sont de deux types : celle des petits agriculteurs et celle des grandes exploitations, parfois issues de l'époque coloniale comme dans le cas de l'Algérie – le domaine colonial ayant été transformé en fermes d'État et en coopératives,

puis privatisé. Dès avant la guerre, les techniques dites de *dry farming* (travail superficiel du sol après récolte des céréales afin de conserver l'eau) ont été importées d'Amérique, mais les résultats ont été insuffisants. Les tentatives d'introduction de rotations complexes de type australien (*ley farming* à base de blé associé à des légumineuses annuelles et moutons en pâturage contrôlé) se sont révélées en contradiction avec la tradition d'élevage extensif à caractère incontrôlé. Les perspectives de développement de grandes fermes irriguées avec les aquifères profonds (Libye, Égypte, Arabie Saoudite) sont sans avenir à long terme en raison de l'épuisement progressif de la ressource en eau. Dans ce contexte, les pays pétroliers n'ont et n'auront pas de difficulté à importer des céréales. Les autres verront de plus en plus augmenter le poste des importations céréalières dans leur balance commerciale. Face à ce risque d'impasse, différents pays ont eux aussi commencé à acquérir des terres en Afrique subsaharienne pour s'assurer un approvisionnement à long terme. Cependant, la recherche et la mise au point de nouvelles techniques deviennent là aussi un enjeu capital, mais les moyens consacrés ne sont pas exceptionnellement importants.

1.3. L'Afrique : un avenir potentiellement prometteur mais indéterminé

L'Afrique subsaharienne présente des problèmes spécifiques. C'est le dernier continent à devoir accéder à un plafonnement de la population. Dans les quatre prochaines décennies, l'explosion démographique africaine restera d'actualité. Mais la population étant très inégalement répartie sur le continent (zones à haute densité côtoyant les zones vides), il y aura vraisemblablement une redistribution géographique progressive des populations, avec de grands risques de conflits fonciers. Les surfaces encore peu exploitées en zones de savanes subsahariennes et dans la région Angola – Congo devraient permettre d'accueillir en partie ces populations. Le risque est qu'elles préfèrent les forêts aux savanes et que cela aboutisse à une lente disparition de celles-ci.

Les niveaux d'intensité technique de ces agricultures sont encore faibles et ceci leur laisse des marges de manœuvre importantes. L'usage de variétés améliorées et d'engrais

(autrement dit, la *Révolution verte*) et le recours à la traction attelée bovine et asine restent largement possibles et potentiellement efficaces. L'exemple du coton (*Révolution blanche*), qui constitue un succès historique exceptionnel, en est la preuve. Mais nul ne sait quand s'effectuera le « démarrage » de la courbe de productivité des agricultures familiales. Des politiques agricoles d'accompagnement et de protection sont nécessaires afin d'entraîner l'adhésion des très nombreux petits agriculteurs et éleveurs. Si rien n'est fait en ce sens, pourraient se développer des exploitations de grande taille sur la base de capitaux extérieurs et cela ne constituerait pas une solution pour les petites, très largement majoritaires. Au total, on peut donc considérer qu'existent les ressources foncières pour faire face aux besoins de la population future, mais que l'effort devra être très rapide et très important, alors que les politiques et les infrastructures nécessaires à cet effort ne sont pas prêtes. On peut donc parler d'avenir indéterminé, bien qu'un « décollage » soit inévitablement attendu. Dans ce contexte, la recherche reste cependant relativement pauvre et tributaire des appuis extérieurs.

1.4. L'Europe à la recherche d'autres modèles techniques

L'Europe est l'autre grande région du monde ayant connu très tôt dans l'histoire une population nombreuse et une saturation de son espace productif. Mais, ravagée par la peste ou les guerres, sa population ayant immigré massivement en Amérique et dans d'autres régions du monde, elle a connu une atténuation des crises malthusiennes. Surtout, elle a enchaîné depuis le XIX^e siècle les évolutions technologiques améliorant la productivité : semences sélectionnées, rotations avec des légumineuses, traction attelée animale puis, grâce aux engrais minéraux ou chimiques, les premiers tracteurs, les charrues bi-socs, les semoirs, les épandeurs, les moissonneuses jusque dans les années cinquante. Après cela, ce fut la montée en puissance des matériels de traction, la diversification des matériels de travail du sol, les épandeurs de liquides, les moissonneuses-batteuses, l'agriculture de précision, ... Les niveaux de productivité par hectare ont quadruplé depuis cinquante ans et la productivité du travail a plus que quintuplé. Cela a été possible grâce au recours

intensif à différents intrants, parmi lesquels les semences, les intrants chimiques (engrais, produits phytosanitaires), mais surtout le carburant à prix d'abondance qui a favorisé la motorisation. Cette intensivité en intrants a rendu les coûts de production élevés par rapport à ceux des agricultures extensives en intrants (Canada, Australie). Protéger les agricultures européennes et assurer une garantie de prix allaient donc de soi, l'un et l'autre servant à forcer la productivité et atteindre une certaine autonomie alimentaire.

Avec le temps et la montée des idées libérales, en même temps que l'extension naturelle des économies de marché, les agricultures exportatrices sont devenues de plus en plus concurrentes et la protection européenne (critiquée initialement par les États-Unis) a été de plus en plus mise en cause par les agricultures extensives (pays du groupe de Cairns). À partir de 1992, les protections et la garantie des prix ont été progressivement démantelées et l'agriculture européenne a dû affronter la nécessité de réduire ses coûts. Par ailleurs, elle a aussi dû suivre les exigences de qualité imposées par les consommateurs, commencer à respecter l'environnement et s'adapter à la concurrence intra-communautaire, l'Europe étant désormais de plus en plus élargie à l'est. Aujourd'hui, elle est donc obligée d'inventer une agriculture à coûts réduits, plus compétitive, moins intensive en intrants industriels et plus vertueuse au plan environnemental. Elle est la première à rencontrer cette situation avec ce niveau de contraintes. L'Europe n'est donc pas en position d'être un très grand continent exportateur de produits des grandes cultures, mais elle peut occuper des domaines d'excellence pour la qualité et bénéficier des opportunités de marché de proximité de la région Afrique du Nord / Moyen-Orient. La puissance de sa recherche agronomique et de ses firmes de l'agro-fourmure devrait lui permettre d'identifier les techniques nouvelles dont elle aura besoin pour s'adapter aux besoins des marchés.

1.5. Les États-Unis, l'Australie et le Canada

Ces pays ont en commun d'avoir été autrefois colonisés par des Européens et d'avoir pu constituer de très grandes exploitations agricoles dans de vastes espaces. Ils n'ont

pas connu de situation malthusienne, bien au contraire, puisqu'ils disposaient de très grandes surfaces et d'une population immigrante somme toute encore limitée. Très tôt, ils ont donc été amenés à utiliser des techniques extensives, c'est-à-dire reposant sur un travail du sol peu profond, rapide et à faible intensité d'usage des intrants industriels comme les semences (semis peu dense) et les engrais. Grâce à l'extensivité et malgré leur haut niveau de motorisation et de mécanisation, leurs coûts de production sont longtemps restés bas. Ces pays ont ainsi occupé largement le marché international des grandes cultures et imposé leurs prix. Ils ont donc vu de mauvaise grâce se déployer la concurrence des excédents européens subventionnés par le mécanisme des restitutions, mécanisme dont ils finiront par obtenir le démantèlement à partir de 1992.

Cependant, les avantages comparatifs procurés par l'extensivité ne sont pas durables. Ces pays sont amenés à exporter davantage car la demande des marchés augmente, alors que leurs capacités de production saturent progressivement en raison des limites d'espace. Pour produire plus, ils sont amenés à entrer plus avant dans une démarche d'intensification. Celle-ci se traduirait, si elle était poursuivie, par des hausses de coûts. Mais dans ce domaine, ils rencontrent la concurrence active d'autres pays extensifs d'Amérique du Sud. Leur recherche s'oriente donc de plus en plus vers la conservation de hauts niveaux de compétitivité.

1.6. L'Amérique du Sud : un géant agricole en déploiement

Le Brésil comme l'Argentine sont aussi des espaces anciens de conquête coloniale. Mais, à la différence de l'Amérique du Nord et de l'Australie, les très grandes exploitations agricoles sont restées longtemps peu productives et « endormies ». C'est seulement dans les années soixante, sous la pression des conflits fonciers et des tentatives de réforme agraire (en raison du très grand nombre de « sans terre ») et avec l'émergence d'un capitalisme agricole très actif, que toute l'Amérique Latine a rapidement connu une modernisation technique des grandes cultures : blé, maïs, coton, soja, ... Les climats favorables, les très faibles coûts de main-d'œuvre, la disponibilité des techniques et des capitaux

nécessaires, ainsi que la qualité des techniques ont permis un accroissement très rapide des rendements (ceux-ci restant cependant à un niveau modeste), un accroissement fort de la production et des exportations bénéficiant d'avantages compétitifs imbattables. Cela se fait cependant au prix de la destruction des forêts tropicales et du maintien d'une grande partie de la main-d'œuvre rurale dans une grande pauvreté : autant d'avantages compétitifs qui sont moralement discutables et non durables sur longue période. Les capacités d'expansion sont pourtant très importantes, à la fois en termes de surfaces et de rendements, les techniques conventionnelles étant toujours valides, contrairement à l'Europe. Cependant, dans le sud du Brésil et en Argentine, émerge une technologie nouvelle : celle du semis direct, sans labour, qui permet de réduire les coûts en énergie et en engrais dans des proportions importantes. Le semis direct tel qu'il est pratiqué est associé à l'usage d'organismes génétiquement modifiés (OGM) résistants aux herbicides : ceci augmente le coût financier de contrôle des adventices et expose cette agriculture à des critiques des mouvements écologiques et scientifiques, notamment en raison de l'apparition d'adventices résistantes aux herbicides. Mais la recherche de ces deux pays et celle des firmes nord-américaines leur confèrent une capacité d'avance technique importante.

1.7. La Russie et la mer Noire : un outsider

L'agriculture soviétique a été techniquement mimétique de celle des grands pays d'agriculture extensive : très grandes exploitations (maïs collectives), grande motorisation, utilisation extensive de semences et d'engrais, ... Le manque de motivation économique et, sans doute, la mémoire des spoliations et persécutions paysannes de l'ère stalinienne ont contribué à limiter les performances de cette agriculture. La fin du communisme, puis les privatisations ont profondément changé la donne. Aujourd'hui, l'équation est la suivante : des espaces immenses, quelquefois avec une richesse naturelle saisissante (tchernozem de la mer Noire), de très grandes exploitations issues de l'ère soviétique permettant d'atteindre des niveaux élevés de productivité et des coûts de production bas, mais un déficit d'entrepreneurs et d'état d'es-

prit d'entreprise. Sur ce dernier point, des changements sont en cours. La disponibilité des capitaux pour investir et l'initiative d'entrepreneurs devraient offrir à cette région un devenir à la mesure de son potentiel productif. La Russie et les pays de la mer Noire devraient devenir des exportateurs importants. Ces différentes agricultures ont une histoire propre. Avec la mondialisation, elles ont de plus en plus une histoire commune et celle-ci devrait être de plus en plus interactive et définir une géopolitique mondiale des grandes cultures.

2. UNE HISTOIRE DE PLUS EN PLUS MONDIALISÉE

2.1. La rencontre de ces agricultures sur le marché mondial à moyen terme

À moyen terme, les tendances qui viennent d'être décrites devraient se poursuivre. Sauf crise économique majeure à l'échelle mondiale, les variables motrices actuelles du système agricole global devraient continuer à fonctionner. Essentiellement, la première variable est la croissance démographique – en Asie, en Afrique et, dans une bien moindre mesure, en Amérique Latine – qui entraîne une augmentation des besoins. La seconde est l'accroissement du pouvoir d'achat dans les classes moyennes des pays émergents, en particulier en Asie, mais aussi dans toutes les grandes villes de ces trois continents, celle-ci se traduisant par la hausse de la demande en viande et donc en aliments du bétail.

Le volume des échanges mondiaux devrait donc s'accroître, principalement en raison des besoins d'aliments du bétail importés en Asie. L'Amérique Latine devrait rester le principal exportateur vers l'Asie. La région Afrique du Nord / Moyen-Orient devrait accroître elle aussi ses importations, en particulier de céréales en provenance du monde entier et sans doute d'Europe et de la mer Noire. La poursuite de ces tendances durant une dizaine d'années ne devrait pas entraîner de grands changements technologiques car les régions productrices sollicitées pour exporter (Amérique Latine, Russie et mer Noire, ainsi que les pays d'agriculture extensive) ont encore des réserves d'espace et de productivité qui peuvent être mobilisées à partir de techniques conventionnelles. Tout

cela, rappelons-le, dans l'hypothèse d'une continuité du développement économique international tel qu'il s'est déroulé durant les deux dernières décennies.

2.2. À plus long terme, de nécessaires changements

Dans les prochaines décennies, sans que l'on puisse déterminer quand, différentes variables pourraient définir un avenir technologique différent. Tout d'abord, la rareté progressive du pétrole (malgré les évolutions erratiques dues aux effets de la crise) va accroître les coûts des opérations culturales, en particulier du labour et ceci devrait amener à le supprimer dans nombre d'endroits, ou à réduire sa profondeur, voire recourir à des techniques superficielles de travail du sol. Supprimer le labour conduirait soit à utiliser des herbicides en plus grande quantité, soit à utiliser des rotations appropriées ou des *mulchs* épais ou encore d'autres techniques comme le binage mécanique de précision.

La nécessité de lutter contre les émissions de gaz à effet de serre devrait aller dans le même sens : limiter les dépenses en énergie fossile, donc limiter le travail du sol, réduire le labour car ce mode de travail du sol entraîne des émissions biologiques de gaz à effet de serre et trouver des alternatives à l'épandage d'engrais azotés qui émet des oxydes d'azote à fort pouvoir de réchauffement atmosphérique. On peut aussi imaginer que le renoncement à ces techniques et le recours à des méthodes qui séquestrent le carbone dans les sols seront reconnus comme pouvant participer au marché du carbone. Les prix des engrais azotés suivront peu ou prou les cours du pétrole. Les agricultures intensives d'Europe et dans une moindre mesure des États-Unis devront trouver des formes complémentaires de fertilité azotée : rotation ou association avec des légumineuses, engrais naturels divers et activation de la biologie des sols. Les agricultures extensives seront incitées à ne pas accroître leur consommation en engrais azotés.

L'opposition des sociétés à l'usage des pesticides caractérise essentiellement les sociétés industrielles occidentales. L'Europe interdit certaines molécules, ce que ne font pas d'autres pays. Il devrait en résulter pour l'Europe une perte de compétitivité, mais un gain de qualité dont on peut penser qu'il se traduira tôt ou tard par des avantages de mar-

ché. Au plan technologique, l'Europe devrait généraliser très rapidement une utilisation de pesticides de type « *agriculture raisonnée* » et avancer dans le sens de la protection intégrée (lutte biologique, variétés résistantes, pesticides subsidiairement).

Au plan économique, la compétition à l'exportation entre ces agricultures devrait changer progressivement de nature, au sens où s'opposent des produits à valeurs environnementales différentes : valeur négative au Brésil en raison de l'atteinte aux forêts, valeur positive en Europe en raison de la réglementation protectrice de l'environnement. Il n'y a cependant pas de raisons objectives à ce qu'émerge une régulation mondiale limitant les pratiques environnementales néfastes liées à l'agriculture. L'adaptation à ces nouveaux contextes constitue un véritable défi pour la recherche en Europe.

2.3. À plus long terme encore, des ruptures en devenir

À très long terme, plusieurs phénomènes pourraient intervenir, demandant des changements de technologie. Tout d'abord, la part de la production des grandes cultures qui sera commercialisée sur le marché international devrait augmenter, peut être de l'ordre de 30 %. La concurrence portera sur des volumes importants. Il est dès lors vraisemblable que cette concurrence ne puisse pas se faire entre espaces de production n'appliquant pas les mêmes règles de prise en compte des coûts sociaux : certains ayant une agriculture polluant l'environnement et d'autres pas, certains émettant des gaz à effet de serre et d'autres pas, certains détruisant la biodiversité et d'autres l'améliorant. De même, l'approvisionnement alimentaire se satisfait-il de grandes variations relatives des cours des monnaies ? L'Afrique acceptera-t-elle que son agriculture soit faiblement protégée, alors qu'elle devra accroître fortement sa production ? On peut supposer que les pays importateurs chercheront à être le moins possible dépendants des marchés et de leurs fluctuations et pourront, comme l'Europe en 1958, davantage protéger leur production et accepter d'en payer le prix. On peut être quasi certain que l'Asie, dans cette même perspective, cherchera à être moins dépendante et donc à accroître fortement ses rendements et développer les technologies correspondantes :

systématisation des OGM, aménagement de tous les sites possibles de barrage, innovation dans la fertilisation et dans la protection des cultures en poursuivant la recherche dans les voies chimiques.

D'autres voies pourraient être explorées pour limiter les taux de dépendance alimentaire. Tout d'abord, la poursuite et l'amplification des achats de terre internationaux commencés il y a au moins deux décennies. À moins de réflexes nationalistes ou de contestations locales violentes, tout laisse à penser que les États qui disposent de réserves foncières loueront celles-ci pour de longues durées à des grandes entreprises privées étrangères (ayant vraisemblablement des filiales locales). Outre l'Afrique et les zones de conquête en Amérique Latine, cela pourrait se développer en Sibérie orientale et occidentale et en Asie centrale. Ces entreprises apporteraient avec elles des techniques de production cherchant à limiter les coûts. Par ailleurs, pourrait se développer la pratique de contrats d'approvisionnement entre pays producteurs de zones excédentaires et entreprises importatrices de zones déficitaires. Selon leurs conditions, ces contrats pourraient apporter de la stabilité aux importateurs, mais aussi aux producteurs pour leurs débouchés et donc faciliter leurs investissements. Ce mécanisme serait aussi un facilitateur de changement technologique. Un autre changement majeur à long terme est le changement climatique. Il pourrait entraîner des changements radicaux : assèchement du climat brésilien, détérioration du climat méditerranéen et du sud de l'Europe, détérioration des capacités de production en Inde et en Chine du Sud, amélioration des capacités au Canada, en Sibérie et Europe du Nord. Tout cela restera à préciser au fur et à mesure que progresseront les modèles de prospective. Les géographies de l'offre et de la demande en seront profondément modifiées. Ces changements devant intervenir de manière discontinue dans le temps (longues et fortes périodes de sécheresse, périodes de pluies et de tempêtes de plus grande intensité), l'imprévisibilité et l'incertitude sur la production pourraient renforcer les tendances évoquées ci-dessus (besoin d'assurance, de contrats, de protection). Au plan technologique, l'agriculture devra s'adapter et de nouvelles technologies devraient émerger : diversification des cultures et des variétés afin de les adapter, plus grande plasticité

en cas d'événements climatiques inattendus, aménagements des paysages (régulation de la végétation, remplissage des nappes phréatiques, ...) afin de mieux gérer les ressources en eau, plans de déplacement latitudinal de la production, etc.

Autre changement fort : la diversification de la production vers l'énergie avec de nouvelles générations de carburants végétaux et l'utilisation des bio-ressources comme le bois pour la production d'alcool, de cellulose et de lignine en substitution des plastiques issus du pétrole. Il est difficile d'établir des perspectives claires, mais il est certain que la biomasse devrait être un des premiers substituts naturels aux produits issus de gisements fossiles. Cela renforcera le besoin d'accroître les rendements des grandes cultures pour faire face aux besoins alimentaires, alors qu'il y aura concurrence accrue pour l'usage alimentaire et non-alimentaire des sols. On peut aussi s'interroger sur l'évolution à très long terme des prix des matières premières agricoles, aussi bien à destination alimentaire qu'industrielle ou énergétique. Une hypothèse est que la vitesse de l'accroissement de la demande excède celle de l'accroissement de l'offre et qu'il en résulte une tendance à la hausse des prix, accompagnant par ailleurs celle du pétrole.

De plus, les incertitudes de l'horizon précédent seront devenues des certitudes : fortes exigences de non-pollution aux pesticides, maîtrise des pollutions aux engrais, exigence de cultiver la biodiversité, amélioration des qualités organoleptiques et gustatives des produits. La généralisation progressive à l'ensemble du monde de ces exigences et l'apparition de normes devraient entraîner l'émergence de nouvelles technologies alliant productivité et écologie. Cette évolution apparaît inéluctable et suscite un certain espoir technologique.

3. UN ESPOIR TECHNOLOGIQUE

Sans aller donc jusqu'à prétendre qu'une certaine rareté malthusienne s'imposera à l'échelle de la planète entière, on est cependant conduit à noter que la multiplication des besoins alimentaires et non-alimentaires, ainsi que leur confrontation avec les limites (énergie, engrais) et les contraintes environnementales définissent une équation qui ne

pourra être résolue, à nouveau, que par la technologie. Il est certes possible de continuer la course aux rendements fondée sur le progrès génétique et l'augmentation des intrants, mais cette option est fortement limitée par ses coûts en énergie et en intrants chimiques, ainsi que par les risques inhérents aux pollutions qu'elle peut générer. Il n'est cependant pas impossible de poursuivre dans cette voie, notamment par des améliorations génétiques rapides et en améliorant la précision des traitements phytosanitaires. C'est la voie qui a été implicitement choisie par les firmes du secteur des biotechnologies. Accroître les performances des semences conduit en effet inévitablement, pour permettre l'expression de leurs potentialités, à garantir aux plantes, un environnement entièrement contrôlable : irrigation d'appoint (si nécessaire), disponibilités en engrais « *juste-à-temps* et *juste-en-place* », maîtrise totale des maladies et ravageurs, ... C'est donc une voie risquée.

Une autre voie se développe. L'alternative qui s'ouvre actuellement nous est offerte par l'inspiration scientifique fournie par le fonctionnement de la nature elle-même : intensification des mécanismes écologiques, aménagement des écosystèmes et des paysages pour qu'ils fournissent des services écologiques plus efficaces, utilisation des propriétés des plantes inscrites dans leur génome comme ressource pour définir des procédés industriels nouveaux (nouveaux pesticides bio-mimétiques) ou pour les intégrer dans le génome des plantes dans une logique de facilitation de l'adaptation évolutive à une écologie qui est appelée à changer fondamentalement. C'est la voie de « *l'écologie intensive* »¹, qui concilie la haute productivité et l'utilisation de raisonnements écologiques offrant des garanties de bon respect de l'environnement.

Intensifier les mécanismes écologiques, c'est amplifier leur fonctionnement au bénéfice des objectifs fixés. Par exemple, la photosynthèse qui est à la base du rendement en biomasse dépend beaucoup de la durée d'utilisation des radiations solaires par les plantes. Or, les grandes cultures des pays tempérés n'utilisent les radiations solaires que durant le printemps et une partie de la période estivale, soit seulement environ la moitié de la capacité radiative. Au contraire, assurer une couverture végétale permanente maximise la production de biomasse, l'accroissement obtenu servant à alimenter une autre fonctionnalité

qui se trouve ainsi amplifiée elle aussi : la dégradation de la biomasse, l'humification et la minéralisation qui en découlent. Cette couverture permanente peut aussi amplifier d'autres fonctionnalités écologiques : si elle comprend des légumineuses, elle fournira de l'azote aux plantes cultivées, certaines espèces limiteront la germination des adventices, la couverture pourra améliorer l'infiltration des pluies et alimenter la réserve utile en eau, tout en faisant disparaître les risques d'érosion, ... Quant à l'humification et plus généralement la capacité du sol à produire de la fertilité organique, elle est permise par « *l'écosystème sol* » grâce au cortège des activités de dégradation de la biomasse assuré par les champignons et la faune du sol, l'ensemble pouvant être amplifié et se substituer partiellement à l'utilisation d'intrants chimiques. Un autre aspect de l'utilisation intensive de fonctionnalités éco-systémiques est l'utilisation amplifiée des auxiliaires des cultures à des fins de lutte biologique. Mais il ne s'agit plus seulement de raisonner par couples « *proie – prédateur* » ou « *hôte – parasite* », mais d'intégrer l'ensemble des chaînes trophiques (ou réseau trophique) d'un ensemble diversifié de plantes cultivées ou de « *plantes – hôtes* », le tout, lorsqu'on atteint un certain niveau de complexité, est susceptible de réduire les risques de pullulation et d'envahissement par un ravageur. Les exemples sont nombreux d'un usage amplifié d'une fonctionnalité écologique, mais il y a encore peu d'exemples (sauf dans des exploitations très performantes d'agriculture biologique) montrant qu'il est possible de combiner dans un « *écosystème de production* » plusieurs de ces fonctionnalités de manière à obtenir des synergies productives.

L'accumulation de capacités productives écologiques ne peut être que lente (accumulation de matière organique dans le sol, constitution d'un écosystème sol performant, présence d'un stock permanent de prédateurs des principaux ravageurs, ...). L'adoption de cette technologie est donc progressive et peut s'étaler sur une décennie. Pendant la transition, peuvent cohabiter à la fois l'alternative et les formes conventionnelles : par

1. Voir l'un des premiers articles consacrés à cette voie, B. Chevassus-au-Louis, M. Griffon, *La nouvelle modernité : une agriculture productive à haute valeur écologique*, DEMETER 2008.

exemple, la fertilisation alternative peut être compatible avec des apports d'engrais limités. La cohabitation peut même être considérée comme définitive si les techniques ne sont pas contradictoires les unes avec les autres. Aussi, l'écologie intensive est-elle avant tout une démarche de substitution des intrants chimiques et de l'action mécanique par des mécanismes écologiques amplifiés. Elle part donc de certaines pratiques obligatoires car réglementaires (comme les bandes enherbées), elle inclut la démarche de « *l'agriculture raisonnée* », puis elle va plus loin vers des thèmes de « *l'agriculture intégrée* » et de « *l'agriculture durable* », jusqu'à certaines formes « *d'agriculture biologique* ». Elle offre donc une gamme étendue de techniques que chaque exploitation doit combiner de la manière la plus appropriée afin d'obtenir un « *climax* » productif correspondant aux conditions spécifiques du milieu local.

L'écologie intensive, c'est aussi la capacité, par « *bio-inspiration* », à reproduire industriellement des molécules existant dans la nature ou des processus naturels de manière à en amplifier l'usage. Par exemple, en produisant des molécules stimulant l'expression de réactions des plantes contre des agressions par des ravageurs. On peut même envisager que certaines plantes OGM du futur intègrent des fonctionnalités écologiques utiles, dans la mesure où elles satisferaient, bien évidemment, des conditions suffisantes au plan de leur innocuité et de l'éthique qui aurait présidé à leur réalisation.

CONCLUSION : QUELLE NOUVELLE GÉOPOLITIQUE DES MÉTHODES DE PRODUCTION EN GRANDES CULTURES ?

Au plan géopolitique, ces techniques fondées sur l'écologie fonctionnelle et le génie écologique devraient intéresser d'abord l'Europe (qui doit faire face à une montée des contraintes environnementales et de compétitivité) et l'Amérique Latine qui voudra maintenir de hauts niveaux de compétitivité. L'Inde aussi devrait être intéressée, à la fois pour des raisons malthusiennes et parce que la recherche indienne est capable de s'investir fortement, comme elle l'a montré, dans des voies conciliant les biotechnologies d'avenir et les raisonnements écologiques. Jusqu'en 2011, la Chine a misé sur la connaissance du génome et la voie OGM, mais elle semble s'interroger sous la pression des consommateurs. Par ailleurs, la rapide montée en puissance de son appareil de recherche peut lui permettre des réorientations rapides. Quant aux firmes, elles commencent à manifester, plus que les appareils de recherche publique, des capacités d'anticipation aux futurs contextes de l'agriculture : introduction des technologies de l'information et de la communication dans le machinisme, investissement dans le machinisme de précision, adaptation au non-travail du sol, identification de nouvelles voies de recherche de molécules, accélération de la connaissance des génomes, accélération de la mise au point de nouvelles variétés, investissement dans le génie écologique.

Dans les agricultures des pays industriels, la modernité technique pourrait être résumée par les cinq thèmes suivants :

- Écologie, car l'écologie, comme science et ingénierie, devient une ressource productive.
- Informatique, car de nombreuses pratiques feront appel à de nouveaux logiciels.
- Précision, car c'est une source d'économie importante.
- Connaissance « *intensive* », car les choix d'itinéraires techniques optimaux demandera des raisonnements et des connaissances plus complexes et sophistiqués qu'en agriculture conventionnelle.
- Innovation, locale, car chaque exploitation pourra être considérée comme unique et justifiable d'une optimisation écologico – économique spécifique.

Il reste que la plus grande part des exploitations agricoles des pays en développement est de très petite taille et vit dans un contexte de pauvreté. Au nombre de plusieurs milliards, elles devront accueillir l'essentiel de la croissance de la population mondiale car elles constituent le principal socle économique de l'agriculture planétaire. Il reste à inventer pour elles un ensemble de techniques écologiquement intensives qui soient très productives et surtout économiquement abordables. C'est notamment le rôle des Instituts internationaux de recherche agricole qui, après avoir contribué à créer la géopolitique de la *Révolution verte*, pourraient accompagner celle de cette *Révolution doublement verte*, c'est-à-dire verte comme la première et compatible avec le respect de l'environnement. Les grandes institutions de recherche françaises que sont le CIRAD et l'INRA dans sa vocation internationale, peuvent jouer aussi un grand rôle dans ce domaine.